



Traktionsverhalten von Fahrtrieben mit Radantrieb

1) Berechnungs-Modell für 2 gekoppelte Fahrzeuge → Aufgabe und Lösung

Dieser Bericht beschreibt das Traktionsverhalten von schienengebundenen Fahrtrieben, deren Antriebe auf die angetriebenen Räder (Treibräder) wirken. Die von den Traktions-Antrieben über die Treibräder auf die Schiene zu übertragenden Kräfte sind begrenzt, durch den Haftreibungskoeffizienten f_{2H} zwischen Rad und Schiene und durch die Anpresskraft der Treibräder auf die Schiene. Die Anpresskraft der Treibräder ist bestimmt durch die Masse m_2 des angetriebenen Fahrzeuges und die Anzahl der angetriebenen Räder. Wird bei einem Fahrzeug mit 4 Rädern beispielsweise nur 1 Rad angetrieben, so reduziert sich die für die Traktion wirksame Gewichtskraft des Gesamtfahrzeuges. Die maximal mögliche Beschleunigung a_{max} unter Berücksichtigung aller einwirkenden Faktoren berechnet sich nach Gl. 7.

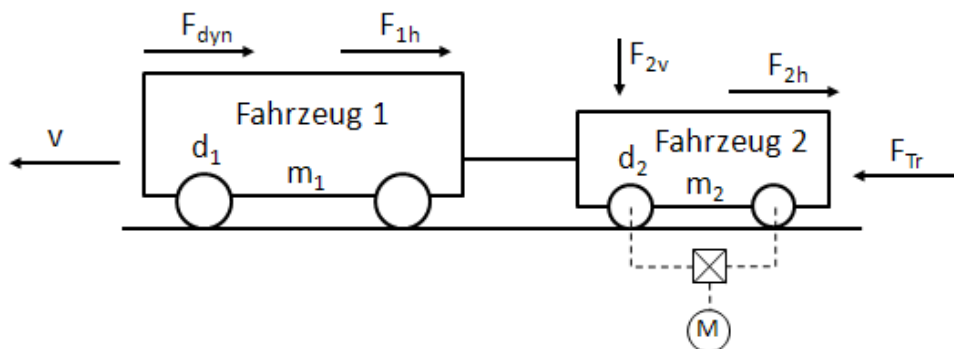


Bild 1: Mechanisches Wirkprinzip „Kraftübertragung per Traktionsräder auf Schiene“
Fahrzeug 1 antriebslos; Fahrzeug 2 mit Antrieb

Die nachfolgenden Gleichungen beschreiben das Berechnungsmodell. Die Traktionskraft F_{Tr} muss stets größer sein, als alle zu überwindenden Gegenkräfte (Fahrwiderstand und Beschleunigung) inkl. eines Sicherheitsfaktors.

$$k_o * (F_{1h} + F_{2h} + F_{dyn}) < F_{Tr} \quad \text{Gl. 1}$$

- F_{1h} Horizontalkraft Fahrzeug 1 (N) → per DSD ermitteln
- F_{2h} Horizontalkraft Fahrzeug 2 (N) → per DSD ermitteln
- F_{dyn} Beschleunigungskraft für beide gekoppelte Fahrzeuge (N)
- F_{Tr} Traktionskraft für beide Fahrzeuge
- k_o Sicherheitsfaktor (... für Reserve) z. B. 1,5 – 2,5

$$F_{1h} = F'_{1h} * m_1 \quad \text{Gl 2} \quad F_{2h} = F'_{2h} * m_2 \quad \text{Gl 3} \quad F_{dyn} = (m_1 + m_2) * a \quad \text{Gl 4}$$

- F'_{1h} / F'_{2h} relativer Fahrwiderstand Fahrzeug 1/2 (N/kg = m/s²)
- m_2 Masse angetriebenes Fahrzeug (kg)
- m_1 Masse Nichtangetriebenes Fahrzeug (kg)
- a Beschleunigung der Schienenfahrzeuge (m/s²)



Traktionsverhalten von Fahrtrieben mit Radantrieb

Die Traktionskraft F_{Tr} ist die Kraft, die maximal von den Treibrädern auf die Schiene übertragen werden kann. Sie ist abhängig von der auf die angetriebenen Räder wirkenden Gewichtskraft F_{2v} und vom Haftreibungskoeffizienten f_{2h} .

$$F_{Tr} = F_{2v} * f_{2h} * k_{2T} = m_2 * g * f_{2h} * k_{2T} \quad \text{Gl 5}$$

$$F_{2v} = m_2 * g \quad \text{Gl 6}$$

- k_{2T} Traktionsfaktor \rightarrow Anzahl der Treibräder / Anzahl der Tragräder (bei gleichmäßiger Gewichtsverteilung auf alle Räder)
 f_{2h} Haftreibungskoeffizient Treibrad – Schiene
 F_{2v} Gewichtskraft Fahrzeug 2
 g Gravitationskonstante = 9,81 m/s²

Gleichung 7 beschreibt die max. mögliche Beschleunigung von 2 Schienenfahrzeugen (Bild 1) unter Berücksichtigung aller einwirkenden Faktoren.

$$a_{\max} < \frac{1}{m_1 + m_2} * \left[\frac{m_2 * g * f_{2h} * k_{2T}}{k_o} - F'_{1h} * m_1 - F'_{2h} * m_2 \right] \quad \text{Gl. 7}$$

a_{\max} maximal mögliche Beschleunigung (m/s²)

Berechnungs-Modell für 1 Fahrzeug \rightarrow Aufgabe und Lösung

In diesem Modell existiert nur ein angetriebenes Fahrzeug 2 (Bild 1). Um die max. mögliche Beschleunigung zu ermitteln, wird in Gl 7 die Masse von Fahrzeug 1 mit $m_1 = 0$ gesetzt. Damit ergibt sich Gleichung 8.

$$a_{\max} < \frac{g * f_{2h} * k_{2T}}{k_o} - F'_{2h} \quad \text{Gl. 8}$$



Traktionsverhalten von Fahrtrieben mit Radantrieb

Berechnungsbeispiel für 2 Schienen-Fahrzeug (Bild 1)

Gegeben:

Das angetriebene Fahrzeug 2 mit 4 Rädern, einem Raddurchmesser von $d_2 = 250$ mm und der Masse $m_2 = 4$ to, soll ein nichtangetriebenes Fahrzeug 1 mit dem Raddurchmesser $d_1 = 350$ mm und der Masse $m_1 = 50$ to in einer Produktionshalle verfahren. Die Treibräder und Schienen sind aus Stahl. Die max. Geschwindigkeit beträgt 5 m/min. Es soll eine Strecke von 30 m verfahren werden.

Gesucht:

- Es ist zu ermitteln, ob die deutlich größere Masse m_1 des nichtangetriebenen Fahrzeugs stationär bewegt werden kann, ohne dass die Treibräder durchrutschen.
- Wie viele Räder vom Fahrzeug 2 müssen mindestens angetrieben werden, um ein Durchrutschen zu vermeiden.
- Welche max. Beschleunigung ist zulässig, ohne dass die Treibräder durchrutschen.

Lösung:

Per DSD-Fahrwiderstandsrechner wird der spezifische Fahrwiderstand von Fahrzeug 1 / 2 ermittelt mit $63 \text{ N/to} = 0,063 \text{ N/kg}$ und $75 \text{ N/to} = 0,075 \text{ N/kg}$ ermittelt.

Parameter	Value	Unit
Hebelarm der Rollreibung	0,5	mm
Lagerreibung	0,002	
Spurkranzreibung	0,003	
Durchmesser Rad	350	mm
Neigungswinkel	0	°
Durchmesser Lager	100	mm
Spezifischer Fahrwiderstand	63,1	N/to

Parameter	Value	Unit
Hebelarm der Rollreibung	0,5	mm
Lagerreibung	0,002	
Spurkranzreibung	0,003	
Durchmesser Rad	250	mm
Neigungswinkel	0	°
Durchmesser Lager	80	mm
Spezifischer Fahrwiderstand	74,9	N/to

Per DSD-Hilfsrechner „Haftreibungskoeffizient“ wird der Haftreib-Koeffizient mit 0,63 ermittelt.

Materialpaarung	μ (trocken)	μ (geschmiert)	μ (nass)
Stahl / Stahl	0,6300	0,1000	
Stahl / Bronze	0,1900	0,1000	

**Traktionsverhalten von Fahrtrieben mit Radantrieb**

Diese Werte werden in Gl. 7 eingesetzt. Es wird ein Sicherheitsfaktor $k_o = 2$ verwendet.

Für $k_{2T} = 1$ (alle 4 Räder werden angetrieben) ergibt sich $a_{\max} = 0,165 \text{ m/s}^2$.

$$a_{\max} < \frac{1}{50000 + 4000} * \left[\frac{4000 * 9,81 * 0,63 * 1}{2} - 0,063 * 50000 - 0,075 * 4000 \right] = 0,165$$

Für $k_{2T} = 0,5$ (2 von 4 Rädern werden angetrieben) ergibt sich $a_{\max} = 0,051 \text{ m/s}^2$.

$$a_{\max} < \frac{1}{50000 + 4000} * \left[\frac{4000 * 9,81 * 0,63 * 0,5}{2} - 0,063 * 50000 - 0,075 * 4000 \right] = 0,051$$

Für $k_{2T} = 0,25$ (1 von 4 Rädern wird angetrieben) ergibt sich $a_{\max} < 0 \rightarrow$ nicht möglich!

$$a_{\max} < \frac{1}{50000 + 4000} * \left[\frac{4000 * 9,81 * 0,63 * 0,25}{2} - 0,063 * 50000 - 0,075 * 4000 \right] < 0$$

Lösung zu:

- Die deutlich größere Masse m_1 des nichtangetriebenen Fahrzeugs kann durch das Fahrzeug 2 bewegt werden
- Es müssen mindestens 2 von 4 Rädern angetrieben werden.
- Bei 2 angetriebenen Rädern darf mit max. $0,051 \text{ m/s}^2$ beschleunigt werden und bei 4 angetriebenen Rädern mit $0,165 \text{ m/s}^2$. Dabei ergeben sich Beschleunigungszeiten auf 5 m/min von $0,5 \text{ s}$ (4 angetriebene Räder) und von $1,6 \text{ s}$ (2 angetriebene Räder). $\rightarrow t = v/a$